干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

气候变化背景下陕西冷暖冬事件的多尺度特征研究

郑小华， 娄盼星， 马永永， 冯 蕾， 刘 环
（陕西省气象台，陕西 西安 710015）

摘 要： 基于陕西省1960—2019年94个气象站点冬季逐日气温资料，分陕北、关中和陕南3个气候区，从时间和空间2种尺度分析了陕西冷、暖冬事件的变化特征。结果表明：近60 a陕西冬季增温明显并在1987年前后发生突变，冬季平均0 °C等温线北抬1~2个纬度，增温幅度以陕北最强陕南最弱。从时间尺度上，气候变化导致暖冬指数以9.5%·(10a)$^{-1}$增加、冷冬指数以9.6%·(10a)$^{-1}$减少，20次区域性暖冬事件在冬季气温突变后发生16次，而19次区域性冷冬有16次发生在突变之前。从空间尺度看，陕北和陕南的冷、暖冬发生频次相对较高，但强暖冬区域主要集中在关中，强冷冬区域分布在陕南和关中。后期应重点关注区域性暖冬事件引发的作物安全越冬、疾病传播以及病虫害发生等不利影响。

关 键 词： 暖冬；冷冬；气候变化；陕西
文章编号：

随着以增温为主要特征的气候变化加剧，异常气候事件发生的频率、影响范围和强度变得更加复杂[1]。特别是冬季异常冷暖的变化，对农作物和果树安全越冬、病虫害发生发展和人民群众的生产生活都将产生显著影响[2-3]。已有的观测事实表明，冬季增温使全球极端低温事件出现的频率和强度均有所减弱，但2008年以后北半球的极端低温事件的强度有所增加，并在不同区域上呈现较为复杂的变化[4-5]。冬季增温使中国北方地区的日最低气温小于0 °C的日数显著减少，暖冬事件在1986年以后发生更为频繁[6]。与全国的变化趋势一致，西北地区气温在20世纪90年代后显著上升，特别是冬季气温在近半个世纪升高了2.1 °C[7]。同时，中西部的强暖冬事件较全国其它区域表现更为突出[4]。

陕西地处青藏高原东北侧，南北狭长，纵跨了3个气候带，域内秦岭是南北气候的分界线，农业种植结构和生态多样性复杂，是气候变化影响的敏感区域之一[8]。研究和讨论陕西冷暖冬气候事件发生的多尺度特征，可为完善区域性气候变化特别是冬季极端天气气候事件的变化事实提供理论依据，同时可为复杂的区域性极端天气气候事件预测提供基础。针对陕西冬季的气温变化特征，王娜、贺皓等[9-10]分析了冬季气温的年际变化以及形成机制，并对冷暖冬事件的划分及对应的环流特征做过分析。但针对长序列的冷暖冬气候事件发生的时空变化规律的研究尚未见相关文献。

本研究基于陕西94个气象站点1960—2019年近60 a的观测事实，按照生态和气候特征分陕北、关中和陕南3个区域，分析了陕西各县区以及区域性冬季冷、暖冬气候事件的多尺度变化特征，可为科学防灾和气候资源利用提供决策依据。

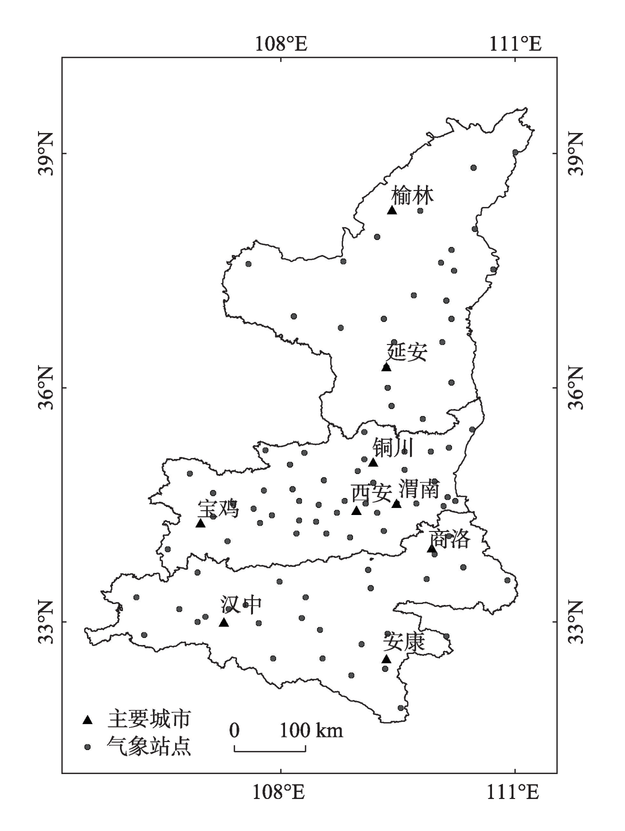
1 数据与方法

1.1 数据来源

本研究所用资料均来自于陕西省气象信息中心。共收集陕西省99个国家气象站1960年12月—2019年2月的地面观测资料的日平均气温和日最低气温，经过质量控制和均一化订正，剔除了黄陵、陈仓、杨凌、三原和泾河5个建站时间较短或缺测数据

收稿日期： 2019-12-24； **修订日期：** 2020-12-11
基金项目： 陕西省气象基金面上项目(2200509)
作者简介： 郑小华(1978-)，女，高级工程师，硕士，主要从事气象灾害研究. E-mail: zxh_qzj@126.com
通讯作者： 娄盼星(1986-)，男，工程师，博士，主要从事要区域数值模式研发和客观释用方法研究. E-mail: francmica@sina.cn

较多的站点数据，对剩余的94个站分别统计了1960—2019年冬季平均气温及其距平。其中冬季当年12月至第二年2月为统计时段(如2010年冬季为2010年12月—2011年2月)。研究区域及站点分布见图1。



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)3333号的标准地图制作，底图无修改。下同。

图1 研究区域及气象站点分布

Fig. 1 Study region and the distributions of weather stations

1.2 极端气温事件定义

1.2.1 单站暖冬和冷冬定义 按照《暖冬等级》国家标准[11]，参考已有研究成果[4,6,12-13]，当观测站点冬季的平均气温距平$\Delta T\geq 0.43\sigma$(σ为平均气温的标准差)，将该年份定义为暖冬事件发生年。由于强暖冬属于异常发生的极端气温事件，因此将强暖冬阈值界定为1.29σ，当观测站点冬季$\Delta T\geq 1.29\sigma$时认为该年份为强暖冬发生年。其中，以观测站点的冬季平均气温距平与暖冬阈值之差来反映暖冬的强度，定义为暖冬指数(单位：°C)。

同时，将观测站点冬季$\Delta T\leq -0.43\sigma$和$\Delta T\leq -1.29\sigma$的年份分别定义为冷冬发生年和强冷冬发生年。

1.2.2 区域性暖冬和冷冬定义 为进一步深入分析暖冬发生的区域性特征和发生强度，将分析区域内观测站点中暖冬或冷冬发生的站点数占总站点数的百分比定义为区域暖冬指数或区域冷冬指数。其中观测站点中发生暖冬或冷冬的站次百分比超过50%时，认为该年为区域性暖冬或区域性冷冬事件发生年。同时以当年强冷冬或强暖冬事件发生的站点占研究区域站点数超过50%，定义为区域强暖冬或强冷冬发生年。

1.3 分析方法

陕西由北向南纵跨了中温带、暖温带和北亚热带3个气候带，考虑到气候变化在不同气候分区和陆面条件下的差异，从北到南依次划分为陕北、关中和陕南3个区域，分别从时间和空间2种尺度进行冷暖事件变化特征分析，其中陕北共21站、关中44站、陕南29站。分析中，利用线性回归和5 a趋势滑动进行气候变化的趋势分析，并计算各气候区要素均值及变化倾向率。利用Mann-Kendall非参数统计检验法，结合滑动*T*检验方法进行不同气候区冬季平均气温的突变分析。具体的计算方法见相关文献[14-15]，其中Mann-Kendall非参数统计检验法是世界气象组织推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的方法，能够客观地表征样本序列的整体变化趋势。

2 结果与分析

2.1 冬季气温变化的多尺度特征

分析表明，陕西全省冬季平均气温呈现较为显著的变暖趋势，增温幅度为0.3 °C·(10a)$^{-1}$，特别是1990s以后，全省冬季平均气温显著超过平均值。冬季平均气温和增温幅度在3个气候区域的差异比较明显，陕北冬季平均气温−5.1 °C，关中−0.5 °C，而陕南约为3.0 °C。同时，陕北的增温幅度最大达到0.45 °C·(10a)$^{-1}$，其次为关中[0.37 °C·(10a)$^{-1}$]，增温幅度最小的为陕南[0.23 °C·(10a)$^{-1}$]。

突变分析表明(图2)，各区域冬季气温均在1987年前后发生了突变，其中陕北稍早、陕南略晚。而突变前后全省冬季平均气温增幅约为0.9 °C，其中陕北在3个区域中最为突出，突变后的平均气温较突变前增加了1.4 °C，而陕南突变后仅增加0.7 °C，关中则介于1.0 °C左右。

从单站的变化趋势来看，86.6%的县区增温幅度在0.1~0.5 °C·(10a)$^{-1}$之间，其中0.1~0.2 °C·(10a)$^{-1}$的有18个站，0.2~0.3 °C·(10a)$^{-1}$之间的有17站，0.3~

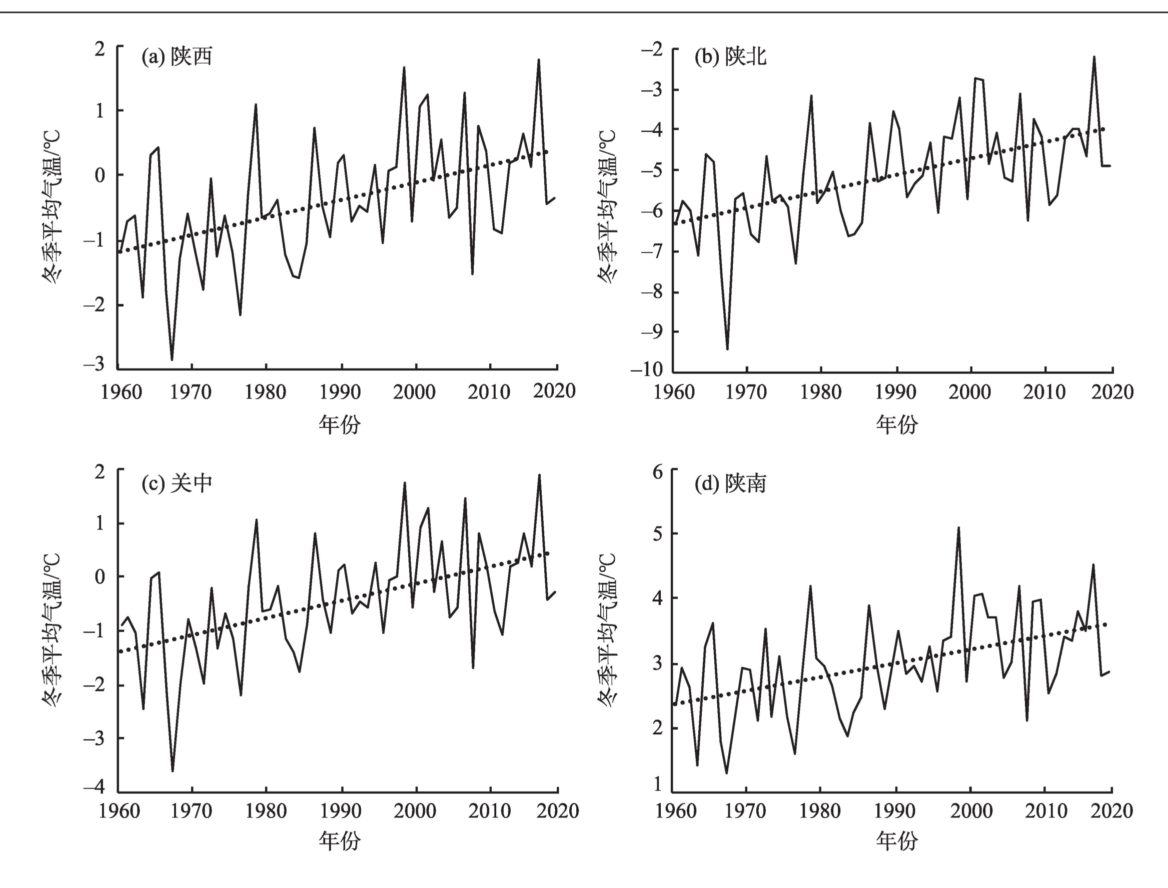


图2 陕西省冬季气温变化的区域性特征

Fig. 2 Change trend of winter average temperature in different areas of Shaanxi Province

0.4 °C·(10a)$^{-1}$ 之间有37站，0.4~0.5 °C·(10a)$^{-1}$之间有12站。所有县区中，陕北的靖边增温最为明显，达到0.8 °C·(10a)$^{-1}$，而陕南最南端的镇坪增温幅度表现最弱，仅为0.08 °C·(10a)$^{-1}$，增温的变化趋势表现出明显的纬度特征。

从冬季气温变化的时间和纬度分析(图3)，冬季气温的变化导致平均气温0 °C线纬度分布发生了明显变化，可以看出在1980s以前0 °C线一直在34°N南侧附近徘徊，而到1995年后明显北抬，其后虽然在2010年前后稍有南移，但一直维持在35°N以北甚至接近36°N，北抬1~2个纬度。

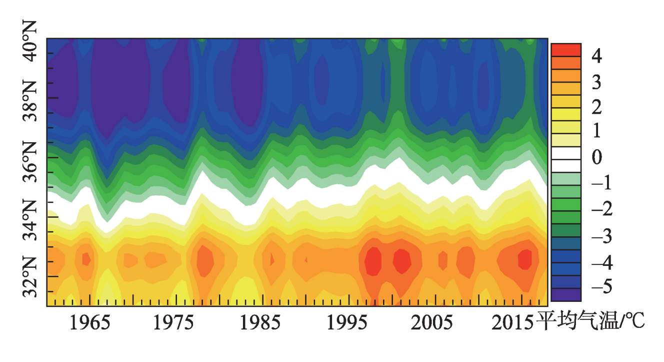


图3 冬季平均气温变化的时间-纬度分布

Fig. 3 Time-latitude distribution of winter average temperature change

2.2 暖冬事件的变化特征

2.2.1 单站暖冬事件变化 统计表明(图4)，80%以上的站点暖冬出现次数集中在17~20 a之间，频度相对集中。暖冬出现超过20次的有12个站，主要分布在陕南和陕北，其中陕南7个站，陕北4个站，而关中仅有1站。发生频次最高的为陕南的洋县、宁强、镇巴、白河和陕北的宜川。90%以上的站点强暖冬发生4~7次，发生频次较高的区域与暖冬发生频次较高的区域分布并不一致，其中发生8次及以上的强暖冬站点主要集中在关中，分别为麟游、太白、宝鸡、华山和宜君，而陕北和陕南各仅有1站，分别为府谷和平利。

从单站暖冬指数的变化趋势分析，与冬季年平均气温变化趋势的地域特征类似，陕南地区升温幅度小，而且呈上升趋势的站数也大都处于较低的升温幅度内[0.1~0.2 °C·(10a)$^{-1}$]，关中地区的站数较多且升温幅度较大[0.3~0.5 °C·(10a)$^{-1}$]，陕北地区站数相对稀少，但是各站升温幅度普遍较大，最大达到0.8 °C·(10a)$^{-1}$。

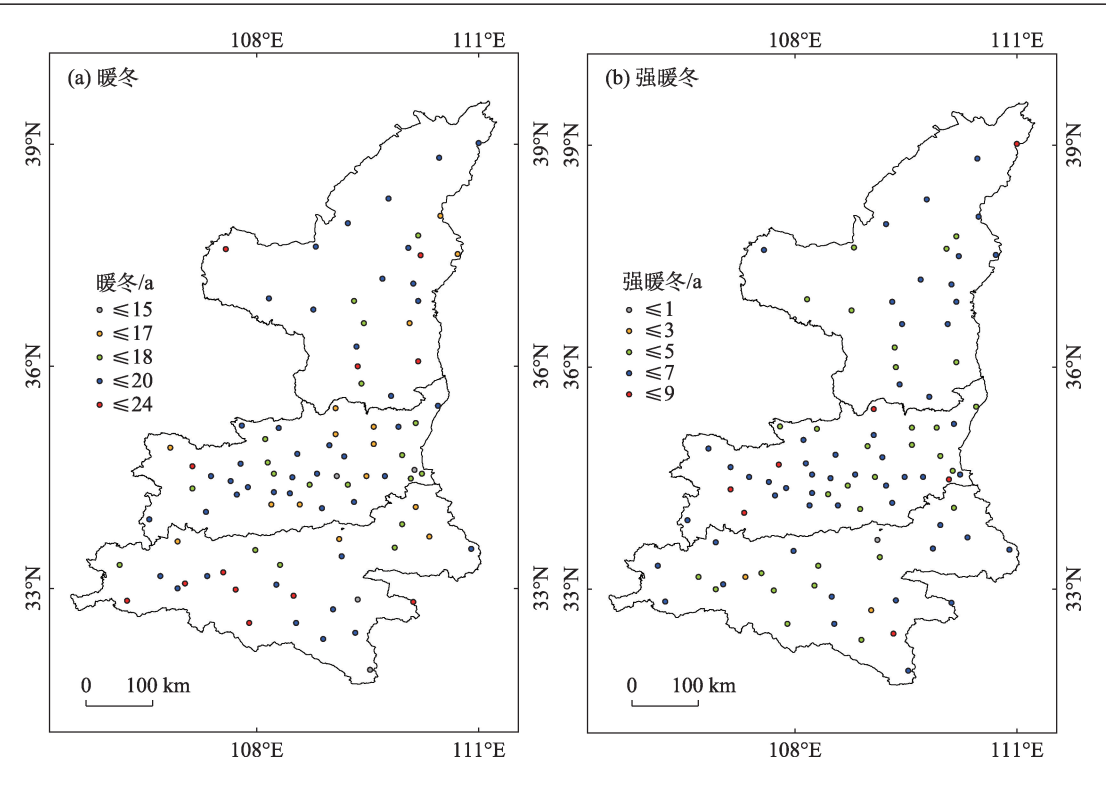


图4 陕西省各县区暖冬和强暖冬发生分布

Fig. 4 Distribution of occurrences of warm winter and strong warm winter in counties and districts of Shaanxi Province

2.2.2 区域暖冬事件变化 通过分析区域暖冬发生的时间变化特征表明(图5),区域暖冬指数和强暖冬指数均呈现显著上升趋势,且年际之间的变化特征明显,增幅为9.5%·(10a)$^{-1}$,均通过5%以上显著性检验。在冬季气温发生突变前达到区域性暖冬指标的发生年份仅有4次,区域性强暖冬仅发生1次,而气温发生突变后,区域性暖冬发生了16次,而区域性强暖冬也发生了4次。气候变暖导致的陕西区域性暖冬发生的频次明显增加,特别是1999年以来已经发生了5次全区域性的暖冬事件,分别为1999、2001、2002、2007年和2017年。

2.3 冷冬事件的变化特征

2.3.1 单站冷冬事件变化 与单站暖冬的发生频次相比(图6),多数站点冷冬发生次数相对较少且发生频次分布较为分散,发生次数介于17~20 a的站点较多,占到68%。而冷冬事件发生在20次以上的站点主要分布在陕南和陕北,其中陕南8站、陕北6站,而关中仅有3站。强冷冬发生频次相对集中且区域性分布特征较为明显,88%的站点发生了4~7次。其中,陕北强冷冬发生相对较少,大多在6次以下,而关中大多在5~7次之间。强冷冬发生频次7次以上的站点主要位于陕南的东部和关中西部,其

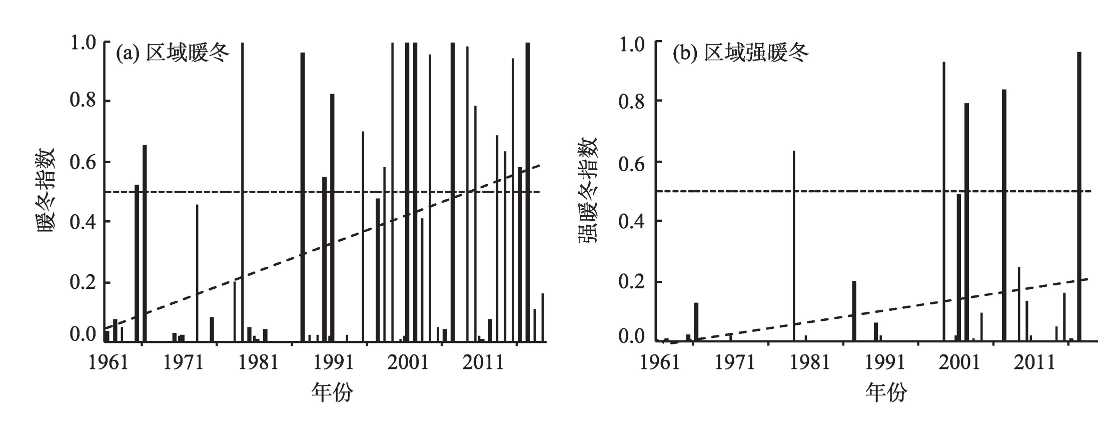


图5 1960—2019年陕西区域暖冬和强暖冬指数的年际变化特征

Fig. 5 Interannual series of warm winter index in Shaanxi region from 1960 to 2019

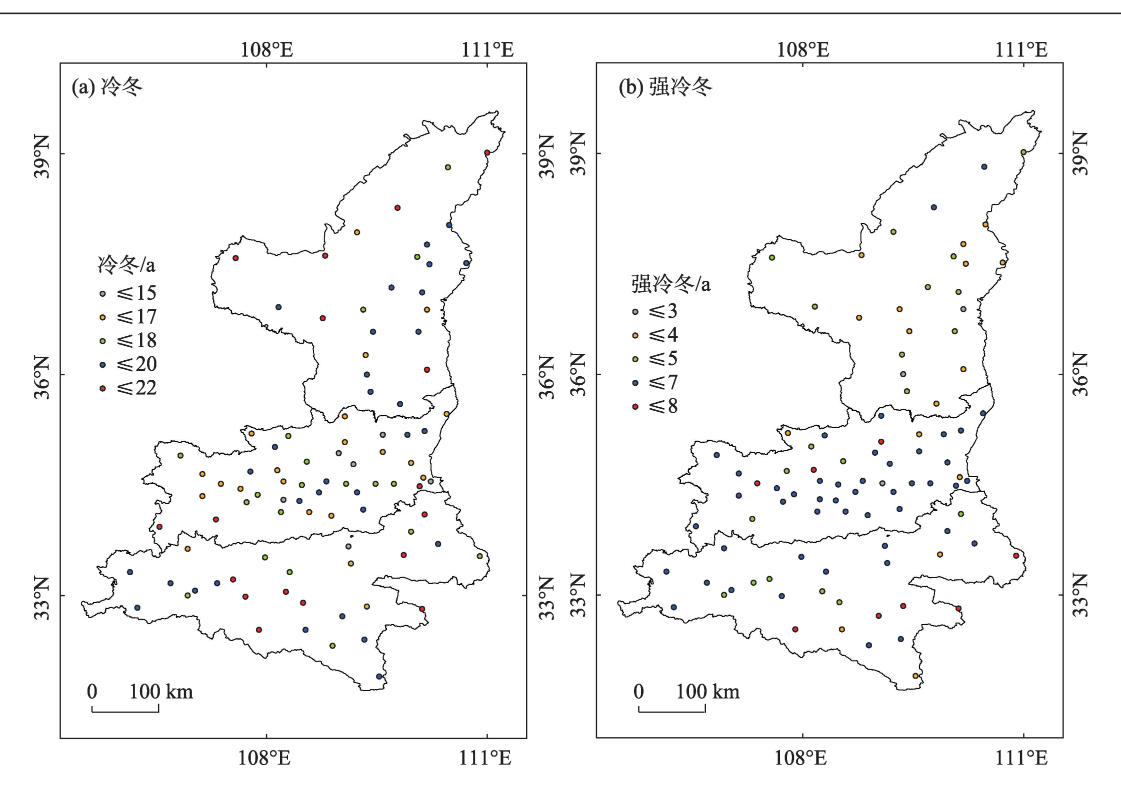


图6 陕西省各县区冷冬和强冷冬发生分布

Fig. 6 Distribution of cold winter and severe cold winter in counties of Shaanxi Province

中而强冷冬发生频次最低的为陕北的延川和富县，仅发生3次。

2.3.2 区域冷冬事件变化

与单站冷冬事件发生特征一致，区域性冷冬和强冷冬事件也相对较少(图7)。区域性冷冬发生22次，区域性强冷冬仅发生5次。且随时间呈显著减少趋势，区域冷冬指数(ICd)降幅为9.6%·$(10a)^{-1}$。从发生频次看，区域性冷冬在冬季气温发生突变之前发生了16次，且强度较高，其中1964年和1977年发生了全区域性冷冬事件，1990s以后区域性冷冬事件仅发生了3次。区域性强冷冬事件的减少趋势则更为明显，5次强冷冬都发生在1980年之前，之后再未发生区域性强冷冬事件。

3 讨 论

气候变化导致冬季气温在不同区域都呈现出明显的上升趋势，研究结果显示陕西暖冬的整体频次显著增加，冷冬频次明显降低，特别是冬季气温突变的90年代之后这种变化趋势更为明显，无论是冬季气温还是冷暖冬事件的分析，从时间尺度的变

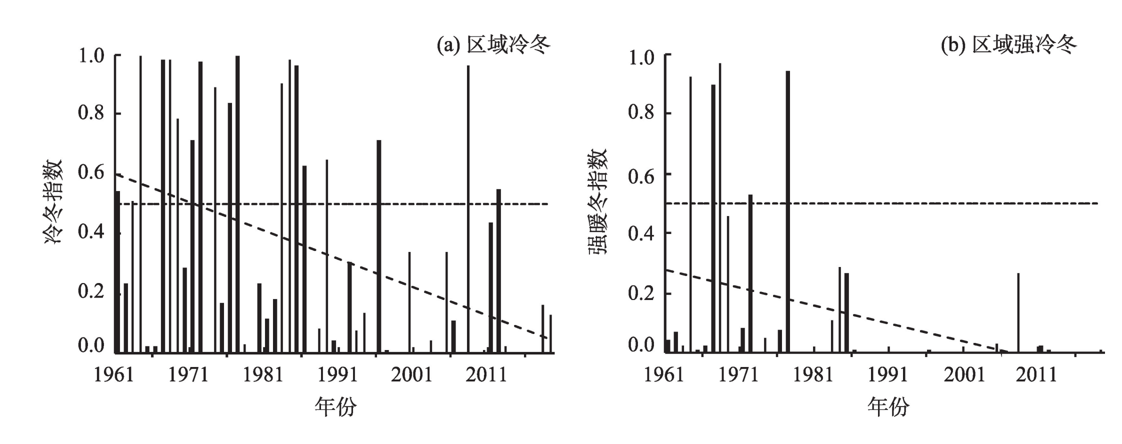


图7 1960—2019年陕西区域冷冬和强冷冬指数的年际变化特征

Fig. 7 Interannual series of cold winter index in Shaanxi region from 1960 to 2019

化特征来看与全国的研究结果基本一致[16-17]。但空间尺度的变化则呈现出较为明显的区域和强弱变化不太一致的分析结果。已有的研究[4,6]认为,暖冬指数上升幅度北方较南方更为突出,但暖冬频次北方却相对较低,从分布上看中西部地区的暖冬发生频次相较于东部地区相对较高,这些研究结果表明从全国尺度看冷暖冬事件的地理和纬向分布特征比较明显,但从陕西区域的研究结论看,陕北和陕南冷、暖冬发生的频次都相对较高,而强暖冬和强冷冬发生频次较高的区域主要集中在关中和陕南。究其原因,冷暖冬事件的发生一方面与北半球增温趋势的背景一致,与温室气体、气溶胶、ENSO和东亚冬季风等因子有关[18-20],但另一方面,在区域尺度上又与不同气候背景、下垫面条件以及局地地形和环流有关[13]。陕西南北跨度较大,横跨亚热带、中温带和温带3个气候区,而且境内的秦岭为南北气候分界岭,而2/3的人口集中在关中城市群,研究区域的下垫面、地形条件以及城市化的影响异常复杂,导致冷暖冬事件强弱的响应在空间尺度上表现出一定的区域性差异。

近60 a陕西冬季平均气温上升较为明显,从目前整个气候变化的观测事实看,随机的"冷事件"只是气候整体变暖背景下出现的正常波动[16],但未来并不排除在暖期也会出现异常冷冬的出现,形成温度上升中的冷暖交替。但从长期平均看,很难改变整个气候变暖的趋势,各站点冷暖冬事件出现的时间重合度较高,这也从另一方面说明区域尺度上的冷暖冬事件的出现是大范围气候状态的反应,分析也表明1999年以来已经发生了5次全区域性的暖冬事件。因此应对由于气候变化引发的暖冬事件增加应该是主要的挑战,暖冬特别是强暖冬影响越冬作物的正常休眠,同时可能会提高病虫害的越冬指数,同时强暖冬伴随的疾病传播风险也是应该关注的重要内容。

4 结 论

利用陕西94个气象台站近60 a的观测资料,按照《暖冬等级》国家标准并结合已有研究成果确定了陕西冷、暖冬气候标准,分陕北、关中和陕南3个区域,分析了陕西各县区以及区域性冬季冷、暖冬气候事件的多尺度变化特征,得到以下结论:

(1) 气候变化导致陕西冬季平均气温呈现显著上升趋势,并在1987年前后发生了突变,突变时间陕北稍早、陕南略晚,增温使冬季平均0 °C等温线北抬1~2个纬度。其中陕北增温幅度最大为0.45 °C·(10a)$^{-1}$,增幅最小的陕南仅为0.23 °C·(10a)$^{-1}$。

(2) 时间尺度上,近60 a来区域暖冬指数以9.5%·(10a)$^{-1}$增加、冷冬指数以9.6%·(10a)$^{-1}$减少。大多站点冷、暖冬分别发生17~20次,其中强冷冬和强暖冬分别发生4~7次。冬季平均气温突变前后冷暖冬频次发生显著变化,其中20次暖冬事件中有16次发生在冬季气温突变后,19次区域性冷冬有16次发生在冬季气温发生突变前,特别是强冷冬事件在1980年之前发生了5次之后再未发生。

(3) 空间尺度上,陕北和陕南的冷、暖冬发生频次均相对较高,但强暖冬发生频次较高的区域主要集中在关中地区,强冷冬发生频次较高的区域主要在陕南和关中。

参考文献(References)

[1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis[M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf.

[2] 屈振江, 周广胜. 中国产区苹果越冬冻害的风险评估[J]. 自然资源学报, 2017, 32(5): 829-840. [Qu Zhenjiang, Zhou Guangsheng. The risk assessment of winter injury in the main apple-producing regions of China[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(5): 829-840.]

[3] 王凌, 张强, 陈峪, 等. 1956—2005年中国暖冬和冬季温度变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 4(z1): 18-21. [Wang Lin, Zhang Qiang, Chen Yu, et al. Changes of warmer winter and winter temperature over China in the past 50 years[J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 4(z1): 18-21.]

[4] 陈峪, 任国玉, 王凌, 等. 近56年我国暖冬气候事件变化[J]. 应用气象学报, 2009, 20(5): 29-35. [Chen Yu, Ren Guoyu, Wang Lin, et al. Temporal change of warm winter events over the last 56 years in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(5): 29-35.]

[5] 冯克鹏, 田军仓, 沈晖. 基于K-means聚类分区的西北地区近半个世纪气温变化特征分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(6): 1239-1252. [Feng Kepeng, Tian Juncang, Shen Hui. Temperature variation characteristics of northwest China based on K-means clustering partition in the past half century[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(6): 1239-1252.]

[6] 龚道溢, 王绍武. 近百年我国的异常暖冬与冷冬[J]. 灾害学, 1996(2): 64-69. [Gong Daoyi, Wang Shaowu. Abnormal warm and cold winter in China during the past century[J]. Journal of Catastro-

phology, 1996(2): 64-69.]

[7] 李栋梁, 彭素琴, 姚辉. 我国西北地区冬季平均产气温的气候特征[J]. 大气科学, 1995, 19(3): 192-199. [Li Dongliang, Peng Suqing, Yao Hui. Climate features of the mean temperature in northwest China during winter time[J]. Scientic Atmospherica Sinica, 1995, 19(3): 192-199.]

[8] 张立伟, 延军平, 王晓喆, 等. 气候变化背景下秦岭气候分界线的变化[J]. 干旱区地理, 2012, 35(4): 572-577. [Zhang Liwei, Yan Junping, Wang Xiaozhe, et al. Climatic boundary variation of Qinling Mountains areas under the background of climate change [J]. Arid Land Geography, 2012, 35(4): 572-577.]

[9] 王娜, 王冀, 王琦, 等. 陕西冬季气温变化特征及其成因[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 604-609. [Wang Na, Wang Ji, Wang Qi, et al. Variation characteristics of winter temperature and mechanism analysis in Shaanxi Province during 1961—2012[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(4): 604-609.]

[10] 贺皓, 罗慧, 高红燕, 等. 陕西冷暖冬年的标准及平均环流特征分析[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 759-764. [He Hao, Luo Hui, Gao Hongyan, et al. Analysis of standard and average circulation characteristics of cold and warm winter in Shaanxi[J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(4): 759-764.]

[11] 陈峪, 王凌, 邹旭恺, 等. GB/T21983-2008. 中华人民共和国国家标准: 暖冬等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [Chen Yu, Wang Ling, Zou Xukai, et al. GB/T21983-2008. National standard of the People's Republic of China: Warm winter grade[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.]

[12] 杜军, 杨志刚, 石磊, 等. 近50年西藏冷暖冬的气候变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(7): 885-894. [Du Jun, Yang Zhigang, Shi Lei, et al. Climatic change in cold and warm winter over Tibet during 1961—2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(7): 885-894.]

[13] 孙林海, 赵振国. 我国暖冬气候及其成因分析[J]. 气象, 2004, 30(12): 57-60. [Sun Linhai, Zhao Zhenguo. Analysis of warm winter in China[J]. Meteorological Monthly, 2004, 30(12): 57-60.]

[14] Kendall M G. Rank correlation methods[M]. London: Griffin, 1975.

[15] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992(4): 482-493. [Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1992(4): 482-493.]

[16] 王澄海, 李健, 许晓光. 中国50年气温变化准3年周期的普遍性及气温未来的可能变化趋势[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 126-136. [Wang Chenghai, Li Jian, Xu Xiaoguang. Universality of quasi-3-year period of temperature in last 50 years and change in next 20 years in China[J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(1): 126-136.]

[17] 王晓娟, 龚志强, 任福民, 等. 1960—2009年中国冬季区域性极端低温事件的时空特征[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(1): 8-15. [Wang Xiaojuan, Gong Zhiqiang, Ren Fuming, et al. Spatial/temporal characteristics of China regional extreme low temperature events in winter during 1960—2009[J]. Climate Change Research, 2012, 8(1): 8-15.]

[18] 黄浩, 张勃, 黄涛, 等. 近30 a甘肃省河东地区极端气温指数时空变化特征及趋势预测[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 319-328. [Huang Hao, Zhang Bo, Huang Tao, et al. Quantifying and predicting spatial and temporal variations in extreme temperatures since 1990 in Gansu Province, China[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(2): 319-328.]

[19] 钱忠华, 侯威, 杨萍, 等. 最概然温度背景下不同气候态中国夏冬季极端温度事件时空分布特征[J]. 物理学报, 2011, 60(10): 819-830. [Qian Zhonghua, Hou Wei, Yang Ping, et al. Characteristics of spatiotemporal distribution of extreme temperature events over China mainland in different climate states against the backdrop of most probable temperature[J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(10): 819-830.]

[20] 任晨辰, 段明铿, 智协飞. 不同气候背景下我国冬夏两季极端气温特征分析[J]. 大气科学学报, 2017, 40(6): 803-813. [Ren Chenchen, Duan Minkeng, Zhi Xiefei. Characteristics of extreme surface air temperature in winter and summer over China under different climate backgrounds[J]. Sactions of Atmospheric Sciences, 2017, 40(6): 803-813.]

Multi-scale characteristics of cold and warm winter variations in Shaanxi under the background of climate change

ZHENG Xiaohua, LOU Panxing, MA Yongyong, FENG Lei, LIU Huan

(Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710015, Shaanxi, China)

Abstract: Shaanxi Province, China is located to the northeast of the Qinghai-Tibet Plateau. It is narrow from north to south and spans three climatic zones of Shanbei, Guanzhong, and Shannan according to the ecological and climatic characteristics of the three regions. Thus, the agricultural planting structure and ecological diversity are complex in Shaanxi. The Qinling Mountains across Shaanxi are the dividing line between the north and south climates in China, indicating that Shaanxi is one of the sensitive areas affected by climate change. Studying the characteristics of the occurrence of cold and warm winter climate events in Shaanxi could provide a theoretical basis for improving the facts of regional climate change. Based on the observational facts of 94 weather stations in Shaanxi from 1960 to 2019, the trend analysis of climatic regions was investigated using linear regression and five-year trend sliding. The factor average and change tendency rate in each climatic region were also calculated. The mutation analysis of winter average temperature in different climatic regions was conducted using the Mann-Kendall non-parameter statistical test method and sliding *T*-test method. The spatial and temporal change results of cold and warm winter events in Shaanxi show that the climatic change has caused a significant increase in the average winter temperature in Shaanxi and its abrupt changes occurred near 1987. The abrupt change time was earlier in Shanbei and slightly later in Shannan. The 0 °C isotherm of zonally average in winter moved north 1°−2°. The maximum temperature increase in Shanbei is 0.45 °C·$(10a)^{-1}$, while the minimum temperature increase in Shannan is only 0.23 °C·$(10a)^{-1}$. The regional warm winter index increased by 9.5%·$(10a)^{-1}$, and the cold winter index decreased by 9.6%·$(10a)^{-1}$ in the past 60 a. The cold and warm winter events in most sites occurred 17−20 times. Simultaneously, the strong cold and warm winter events occurred 4−7 times. The frequency of cold and warm winter events changed significantly before and after the abrupt time, of which 16 out of 20 warm winter events occurred after the abrupt change of winter temperature. Moreover, 16 out of 19 regional cold winters occurred before the abrupt change of winter temperature, especially the strong cold winter that occurred five times before 1980 and never happened again. In the spatial distribution, the frequency of cold and warm winters in Shanbei and Shannan are relatively high. However, the strong warm winter events occur mainly in Guanzhong, while the strong cold winters occur mainly in Shannan and Guanzhong. The winter temperature variation characters with time are consistent with the national results. However, in the spatial distribution, there are some differences between this research and the national results, mainly in the regional and strength changes. The reason for this is that the underlying surface, the terrain conditions, and the impact of urbanization of the study area are extremely complex, leading to a strong regional response to the cold and warm winter events. In the later period, we will focus on adverse effects, such as crop safety overwintering, disease spread, and pests occurrence and diseases caused by regional warm winter events caused by climate change.

Key words: warm winter; cold winter; climate change; Shaanxi